

УДК 66.093.66.099

ЭНЕРГОЗАТРАТЫ В КРИВОЛИНЕЙНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ РАЗГОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Довжик Михаил Яковлевич, к.т.н., доцент

Тяньченко Борис Яковлевич, к.т.н., доцент

Калнагуз Алексей Николаевич

старший преподаватель Сумский национальный аграрный университет, fakyltet-mex@ukr.net

Из трех видов центробежных разгонных аппаратов роторного типа которые используются для сообщения скорости газу, жидкости или твердым частицам, последние исследованы не столь всесторонне, как остальные, хотя и нашли большое распространение в разных отраслях техники. В литературе встречаются попытки отыскания так называемых оптимальных траекторий, которые решают указанные выше задачи [1].

При движении твердой частицы по вращающемуся криволинейному профилю, изогнутому выпуклостью в направлении вращения (отрицательная кривизна), к нормальной силе, вызываемой кориолисовым ускорением, прибавляется еще и нормальная составляющая центробежной силы инерции. Поэтому главным недостатком таких аппаратов является износ и разрушение разгоняемых частиц, а также истирание рабочих органов (лопаток) вследствие повышенного трения между рабочим телом и лопаткой. В случае, когда направляющая лопасть изогнута в сторону, противоположную направлению вращения ротора (положительная кривизна) имеют место значительные потери скорости частиц на выходе, в то время как именно скорость является определяющим фактором при разгоне твердых частиц.

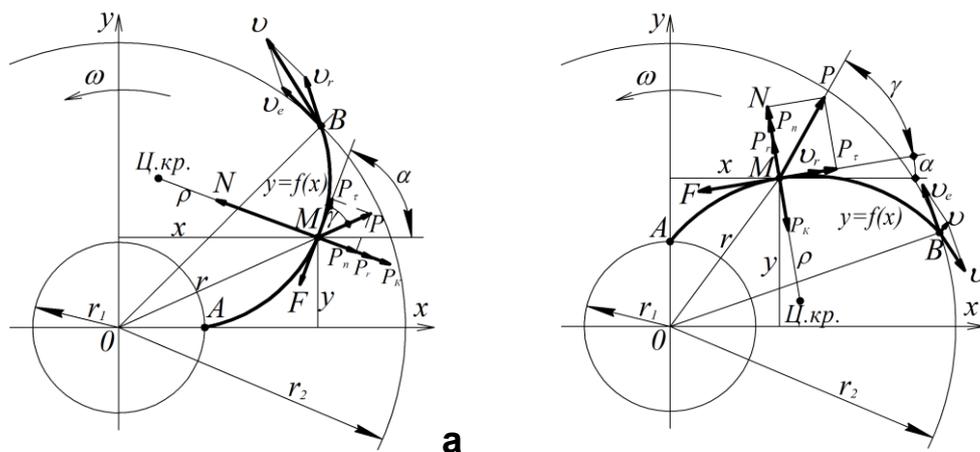


Рис. 1. К определению нормальной реакции направляющей: с положительной (а) и отрицательной (б) кривизной.

Дифференциальные уравнения движения несвободной материальной точки в неинерциальной системе координат xOy в форме Эйлера (рис. 1) имеют вид:

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} = P_\tau - F; \quad \frac{mv^2}{\rho} = P_n + N, \quad (1)$$

где S – дуговая координата, отсчитанная от начала движения (точка A); ρ – радиус кривизны; $P = m\omega^2 r$ – движущая сила, в данном случае центробежная сила инерции; v_r, v_e, v – относительная, переносная и полная скорость точки; P_n и P_τ – нормальная и касательная составляющие силы инерции P ; N – нормальная реакция со стороны направляющей; P_K – кориолисова сила; F – сила трения.

Если траектория движения точки является произвольной функцией $y=f(x)$, а радиус-вектор r точки в момент времени t , отсчитываемого от $t_0=0$ в точке A , то с учетом очевидных соотношений

$$P_\tau = P \cos \gamma = m\omega^2 \frac{x + yy'}{\sqrt{1 + y'^2}}; \quad P_n = P \sin \gamma = m\omega^2 \frac{y - xy'}{\sqrt{1 + y'^2}}; \quad \frac{1}{\rho} = \frac{|y''|}{(1 + y'^2)^{3/2}}; \quad P_K = 2m\omega v_r, \quad (2)$$

из второго уравнения системы (1) получим выражения для реакции N и работы силы трения:

$$A = \int_{r_1}^{r_2} f N dS = f m \int_{r_1}^{r_2} \left[\pm 2\omega v_r + \frac{v_r^2 |y''|}{(1 + y'^2)^{3/2}} \pm \omega^2 \frac{y - xy'}{\sqrt{1 + y'^2}} \right] dS, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения между материалом и поверхностью лопатки. Тут $N = P_K \pm P_n \pm P_\tau$ положительные значения сил принимаются в случае, когда радиус кривизны лопатки положительный (рис. 1,а).

Из выражения (3) следует, что, независимо от формы кривой $y=f(x)$, в случае отрицательной кривизны лопатки нормальную реакцию можно уменьшить лишь за счет уменьшения радиуса кривизны ρ . Однако это ведет к увеличению угла между переносной скоростью v_e и относительной скоростью v_r на выходе из ротора. Абсолютная скорость v при этом уменьшается, следовательно, ротор не выполняет своего предназначения, вместо разгона он тормозит материал. При использовании направляющих с противоположной кривизной (рис. 1,б) резко увеличивается нормальная реакция N , хотя абсолютная скорость на выходе ожидается большой. Затраты энергии при этом также увеличиваются. Кроме этого, возникает опасность заклинивания материала. Условие заклинивания можно получить из очевидного соотношения между движущей силой P_τ и силой сопротивления или силой трения:

$$P_\tau = m\omega^2 r \cos \gamma \leq f(P_K + P_n + P_r).$$

Учитывая приведенные выше выражения для сил и принимая упрощенные значения относительной скорости $v_r = \omega r$, получим условие для оценки опасности заклинивания в зависимости от радиуса кривизны ρ : $\cos \gamma \leq f \left(\frac{r}{\rho} + \sin \gamma + 2 \right)$.

Далее, принимая во внимание, что $\frac{d^2 S}{dt^2} = v_r \frac{dv_r}{dS} = \frac{v_r v_r'}{\sqrt{1+y'^2}}$, а также с учетом (3) из первого уравнения исходной системы (1) получим уравнение, из которого можно найти относительную скорость v_r , если известна функция кривой $y=f(x)$:

$$v_r v_r' = \omega^2 (x + yy') - f \left[\frac{v_r^2 |y''|}{1+y'^2} + 2\omega v_r \sqrt{1+y'^2} - \omega^2 (y - xy') \right].$$

Таким образом, криволинейные направляющие любой формы не позволяют ощутимо снизить силы трения или не обеспечивают необходимую абсолютную скорость частиц из твердого материала на выходе из ротора, что не соответствует назначению этих машин. Следовательно, необходимо уменьшать кривизну направляющих или использовать прямые лопасти.

Литература.

1. Шатохин В.М., Шатохина Н.В. Оптимальные траектории точки, перемещающейся под действием центробежной силы инерции. Харьковский политехнический институт. Статья в журнале «Восточно-европейский журнал передовых технологий». Издательство «Технологический центр», Харьков, том. 4. № 7(58), стр. 9-14.-2012.